

Научные статьи

УДК 551.24(265.54)

ЯПОНОМОРСКАЯ СЕЙСМОАКТИВНАЯ ВИХРЕВАЯ СТРУКТУРА

© 2017 Л.А. Изосов¹, В.И. Чупрынин², Н.С. Ли¹¹Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,
Владивосток, 690041; e-mail: izos@poi.dvo.ru²Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, 690041

Япономорская вихревая структура (ЯВС) образовалась в результате вращательного сдвига в процессе бокового динамического взаимодействия Тихоокеанской и Евразийской плит, спровоцировавшего раскрытие Японского окраинного моря. В процессе становления ЯВС имело место сложное сочетание горизонтальных и вертикальных тектонических движений, суммирующим результатом которых явилось формирование вращающегося магматического диапира. К ЯВС приурочены многочисленные эпицентры землетрясений, свидетельствующие об ее сейсмической активности. При субдукции вращающейся литосферной Тихоокеанской плиты под Евразийскую сформировался мантийный уровень сейсмичности, связанный с активизацией регматической сети.

Ключевые слова: вихревая структура, литосферные плиты, астеносферный диапир, сейсмо-активные зоны.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Целью написания настоящей статьи является обобщение полученных данных и исследование взаимоотношений Япономорской вихревой структуры (ЯВС) и Япономорской зоны субдукции — сейсмофокальной зоны Вадати-Заварицкого-Беньофа (ВЗБ), которая, по-видимому, вращается, как и Тихоокеанская литосферная плита (Маслов, 1996; Takeuchi, 1986), испытывая систематические повороты по и против часовой стрелки.

В Западной части Тихого океана серия структур в виде системы окраинных морей трассирует Западно-Тихоокеанскую зону перехода континент—океан. Японское море, как и другие Западно-Тихоокеанские окраинные бассейны, рассматривается многими камчатскими исследователями (Викулин, 2010; Викулин и др., 2011; Викулин, Тверитинова, 2007; Вихри ..., 2004; Колосков, Аносов, 2005; Мелекесцев, 1979; Тверитинова, Викулин, 2005 и др.), а также и нами (Изосов, Чупрынин, 2012; Изосов и др., 2014; Чупрынин, Изосов, 2017), как структура,

относящаяся к типу вихревых (Ли Сы-гуан, 1958; Lee, 1928).

В свое время И.И. Берсенев с соавторами выдвинули идею о том, что Японское окраинное море образовалось в результате подъема вращающегося астеносферного диапира (Берсенев и др., 1988). Эта идея подтверждается наличием под Западно-Тихоокеанскими окраинными морями активных выступов астеносферы (Родников, 1986). Сам подъем диапира вызван, на наш взгляд, функционированием мощной зоны вращательного сдвига между Евразийской и Тихоокеанской плитами и интенсивным проявлением субдукции.

В статьях (Изосов Чупрынин, 2012; Изосов и др., 2014; Чупрынин, Изосов, 2017) представлена геодинамическая модель возникновения и движения окраинных морей Тихого океана при боковом взаимодействии двух литосферных плит — Евразийской и Тихоокеанской. В возникшей при этом переходной тектонической мегазоне сдвига происходит дробление континентальной и океанической плит на блоки, которые вовлекаются во вращение, активизируется астеносфера

и формируются восходящие и нисходящие тектонические воронки (Абрамов, Осипова, 2009). В результате со временем Тихоокеанская плита начинает, как бы катиться по Евразийской плите на этих округленных обломках-катках. Данную модель в идеальном виде можно представить как два объекта, движущиеся с разной скоростью и взаимодействующие между собой через «моря-катки» (рис. 1). Предполагается, что плиты частично погружены в менее вязкую среду: в мантийное вещество.

В процессе становления конкретно ЯВС мы имеем дело со сложным сочетанием горизонтальных и вертикальных тектонических движений (Изосов и др., 2012а, 2012б), суммирующим результатом которых явилось формирование вращающегося магматического диапира и Японского краевого бассейна (Берснев и др., 1988).

Тихоокеанская литосферная плита в кайнозойе периодически вращалась по часовой стрелке и против нее с центром в Гавайской «горячей» точке (Маслов, 1996; Jackson et al., 1975; Takeuchi, 1986), поэтому современная тектоническая суперпозиция ЯВС определяется следующим образом. Судя по данным линеamentного анализа она закручена против часовой стрелки (Изосов и др., 2014), то есть, при ее формировании Тихоокеанская плита вращалась по часовой стрелке. Как показано в работах (Изосов, Чупрынин, 2012; Чупрынин, Изосов, 2017), при вращении Тихоокеанской плиты по часовой стрелке все окраинные моря в Северном и Южном полушариях должны вращаться против часовой стрелки и поступательно перемещаться в Северном полушарии на северо-восток, а в Южном — на северо-запад. Таким

образом, в данном случае Тихоокеанская плита вместе с зоной перехода и окраинными морями ведет себя как вращающийся шарикоподшипник (Чупрынин, Изосов, 2017).

Важными следствиями, вытекающими из представленной модели, являются следующие. В областях соприкосновения и взаимодействия литосферных плит: происходит сдвиг скорости в астеносфере и образование вихревых структур; концентрируются интенсивные землетрясения и вулканы, которые контролируются сейсмофокальными зонами; часть мелких обломков, содержащихся в переходной зоне, «разбегаются» в результате вращения в краевые части бассейнов и формируют обрамление в виде островных дуг и периферических глубоководных впадин.

Литосферные вихри развиваются подобно циклонам и антициклонам: в их осевых зонах проявляются вертикальные движения — как восходящие, так и нисходящие. Представляется, что именно эти структуры сочетают в себе и горизонтальные и вертикальные напряжения, и отражают тот факт, что они зарождаются и развиваются на вращающейся Земле. Причинами их становления являются космические факторы (приливные силы, связанные с воздействием на Землю Луны, Солнца и других космических тел).

Вероятно, вихревая геодинамика, формирует главные геотектонические элементы Земли, а все остальные являются лишь их разновеликими фрагментами. Не исключено, что региональные сдвиги представляют собой составляющие разнорядковых литосферных вихрей с корнями, проникающими в верхние горизонты мантии.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выделении и исследовании ЯВС был применен, главным образом, широко известный линеamentный анализ. Он представляет собой комплекс геоморфологических, геологических, геофизических и других методов геологического картирования и является одним из наиболее эффективных методов изучения глубинного строения территорий. Данная методика в качестве базовой успешно использована при разработке модели механизма формирования геологических структур центрального типа, в том числе, окраинных морей Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент — океан (Изосов, Ли, 2014; Изосов, Чупрынин, 2012; Изосов и др., 2014; Чупрынин, Изосов, 2017 и др.). В рассматриваемом случае последние выделяются как литосферные вихревые структуры.

Термин «линеament» был предложен американским геологом У. Хоббсом в качестве обозначения линейно вытянутых элементов рельефа и геологической структуры (Hobbs, 1904).

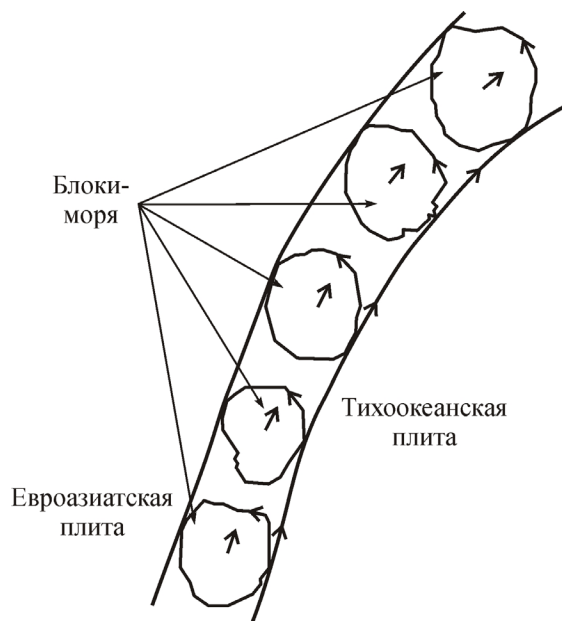


Рис. 1. Движение блоков-морей при сдвиге скорости между литосферными плитами (Чупрынин, Изосов, 2017).

В настоящее время линеаменты обычно рассматриваются как крупнейшие линейные, дугообразные или кольцевые элементы рельефа, связанные с глубинными разломами и зонами повышенной трещиноватости в отложениях осадочного чехла, фиксирующих разломы фундамента (Анализ ..., 1979; Кац и др., 1986; Связь ..., 1969). Главным классификационным признаком линеаментов является их принадлежность к разрывным структурам земной коры. Как известно, крупные разломы глубинного типа на дневной поверхности проявляют себя в геофизических полях линейными и кольцевыми аномалиями. Активные разрывные нарушения также трассируются линейно ориентированными зонами сосредоточения эпицентров землетрясений, которые выделяются как сейсмолинеаменты (Уломов, 1974).

На мелкомасштабных и региональных космофотоснимках с высокой разрешающей способностью, охватывающих огромные территории, четко проявляются как линеаменты, так и многочисленные изометрические морфоструктуры кольцевого типа. То есть, схемы структурного дешифрирования космофотоснимков представляют собой отражение полей разновозрастных деформаций, наложенных друг на друга. Хотелось бы отметить хорошую сходимость данных геологической интерпретации форм рельефа и геофизических данных, например, при выделении систем скрытых разломов фундамента (Связь ..., 1969), которые фиксируются геоморфологическими и гравитационными аномалиями — протяженными линейными зонами градиентов (Изосов и др., 2000; Изосов, Рязанцева, 1977; Петрищевский, 2007). Что касается кольцевых морфоструктур, то они во многих случаях отражают результаты: вулканогенной аккумуляции и вулканотектонических движений (вулканотектонические поднятия и депрессии, кальдеры проседания, стратовулканы, экстррузивы и т.п.) (Изосов, Горошко, 2006); становления интрузивных и вулканогенно-интрузивных куполов различной иерархии (Изосов и др., 2000).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

ЯВС была описана в работах (Изосов, Чупрынин, 2012; Изосов и др., 2014; Чупрынин, Изосов, 2017 и др.) Наличие данной сейсмоактивной вихревой структуры (рис. 2) подтверждается геофизическими данными и связью эпицентров землетрясений с тектоническими и вулканогенными структурами региона (Изосов и др., 2014).

Япономорское звено представляет собой сложное тектоническое сооружение, состоящее из докембрийских блоков, спаянных разновозрастными мобильными поясами (Изосов и др., 2000).

При этом основу тектоники этого региона представляет структура центрального типа, сформированная в результате раскрытия Японского окраинного моря в кайнозой (Берсенов и др., 1988; Основные черты ..., 1978). Следует отметить, что одними из наиболее ярких региональных сейсмоактивных структур являются островные дуги, обрамляющие окраинные моря и связанные своим происхождением с движениями литосферных плит и формированием сейсмофокальных зон (Лобковский, Баранов, 1984).

ЯВС размещается в литосфере над астеносферой, которая подстилается нижней мантией, разбитой на блоки долгоживущими разломами, составляющими планетарную регматическую сеть (Анохин, 2006). В Японском море они были установлены предшественниками в процессе многолетних геолого-геофизических и морфоструктурных исследований (Берсенов и др., 1987; Основные ..., 1978). Эти разломы в виде сквозных (трансрегиональных) линеаментов фиксируются протяженными зонами градиентов на карте аномального гравитационного поля в редукции Буге (Строев, 1972) и на карте рельефа поверхности Мохо (Кулинич и др., 2007); некоторые из них проявлены в виде региональных сейсмолинеаментов (рис. 2).

Сама ЯВС образована кольцевыми и дуговыми линеаментами (Изосов и др., 2014), выделенными по данным космической альтиметрии (ЕТОРО 1) (рис. 3а) на картах аномального гравитационного поля в редукции Фая (Строев, 1975); (рис. 3б) и аномального магнитного поля (Международный геолого-геофизический атлас ..., 2003), (рис. 3в) которые и отражают, в целом, циклональную структуру Япономорской впадины (Изосов и др., 2016) (рис.3).

Сейсмическая активность региона проявилась при раскрытии Японского моря преимущественно в миоцене (Chinzei, 1986), а вращательные движения продолжают здесь и по настоящее время (Рикитакэ, 1970; Otofujii, Matsuda, 1983). В пределах впадины Японского моря, его континентального и островного обрамления установлены очаги многочисленных землетрясений (рис. 2), которые размещены, как в астеносфере, так и в мантии. В первом случае они контролируются ЯВС и центрами современного базальтового вулканизма, а во втором образуют сейсмолинеаменты, в основном, соответствующие направлениям регматической сети (Изосов и др., 2014; Ли, 2013).

Как известно, в зонах перехода континент — океан осуществляется субдукция литосферных плит, которая сопровождается интенсивной сейсмической и вулканической активностью (Хаин, Ломизе, 1995). Формирующиеся при этом сейсмофокальные зоны

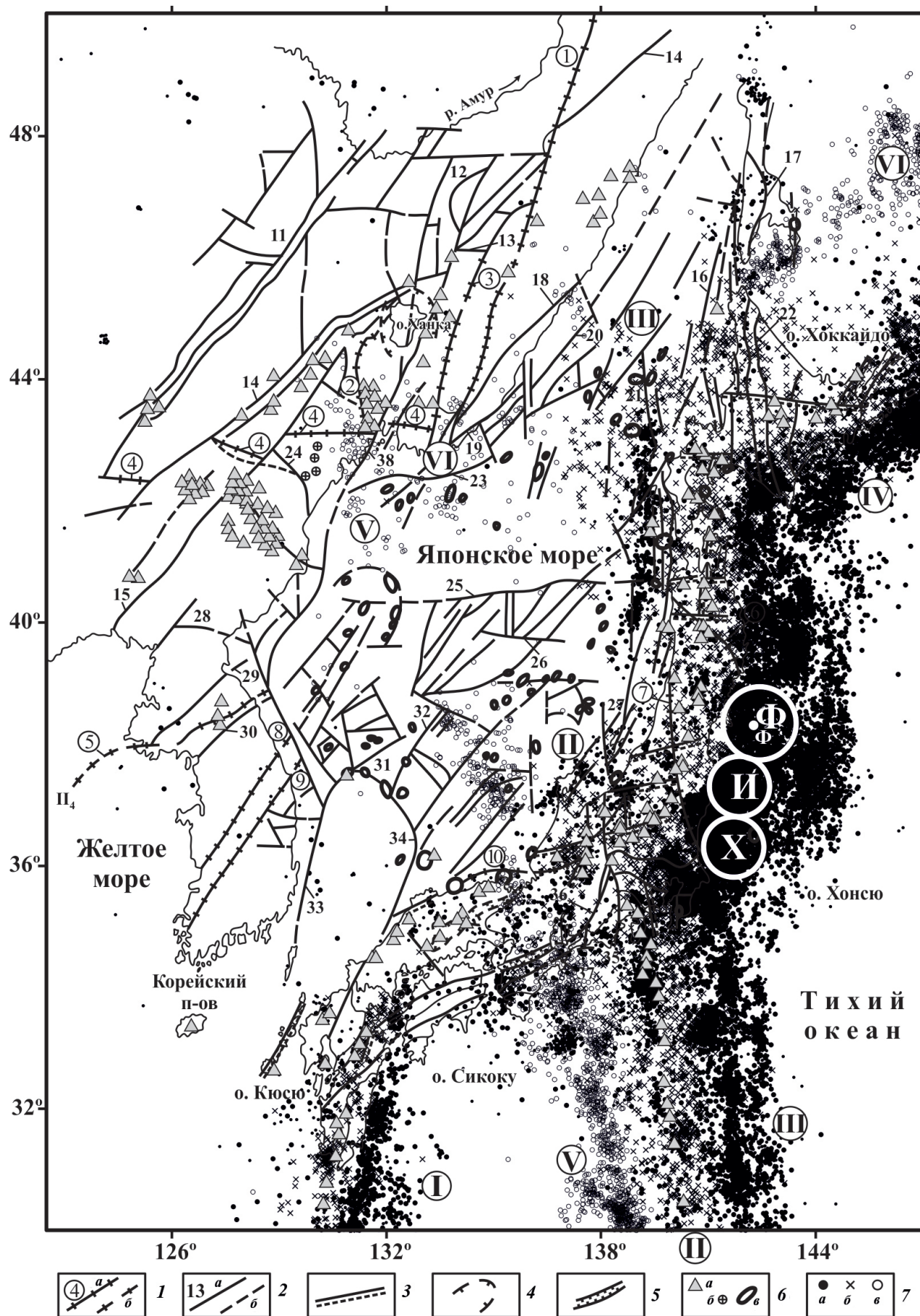


Рис. 2. Условные обозначения см. на стр. 29

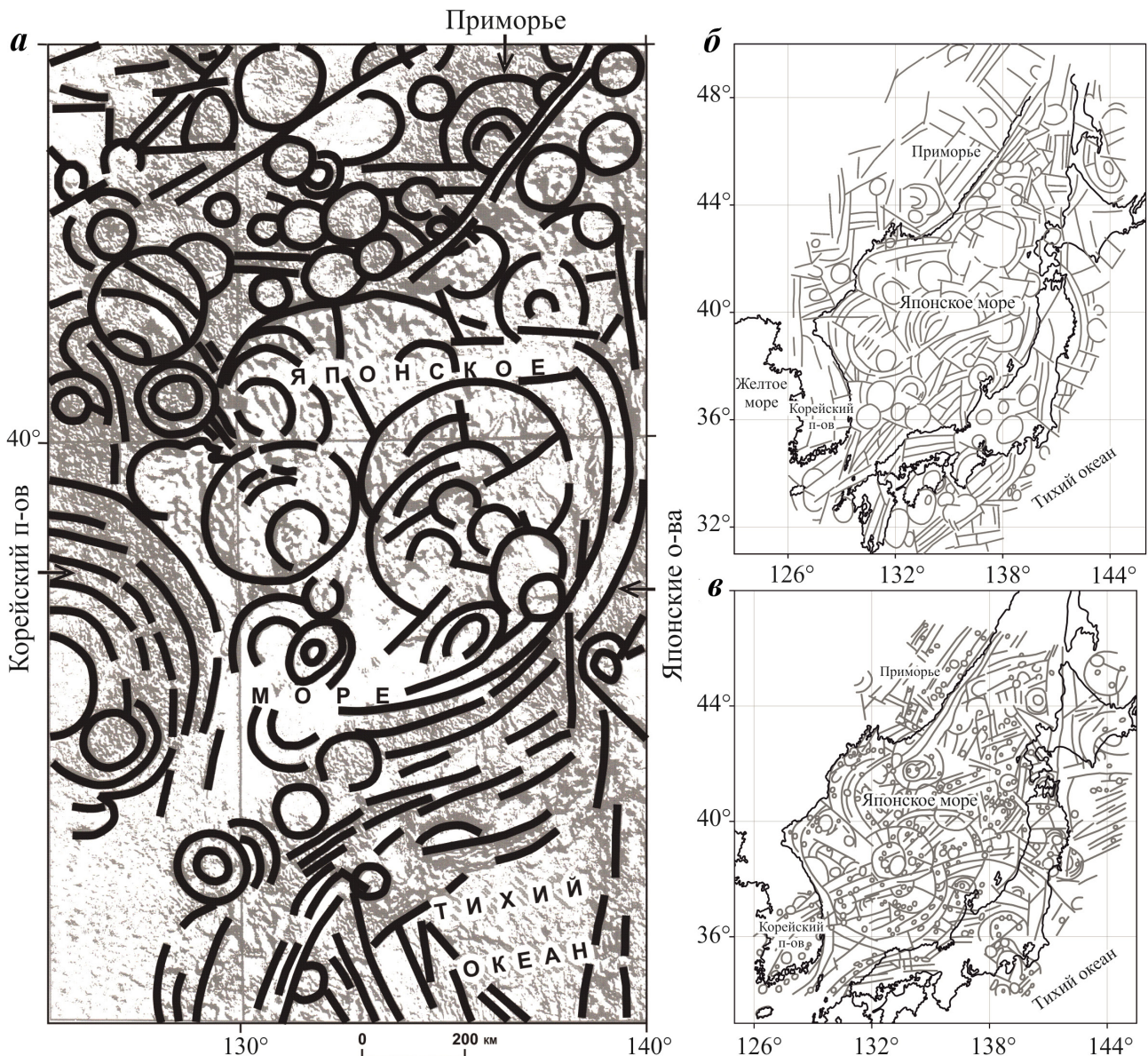


Рис. 3. Схемы линементов (Изосов и др., 2014), выделенных по данным космической альтиметрии (ETOPO1) (а), на карте аномального гравитационного поля Японского моря в редукции Фая (Строев, 1975) (б) и на карте аномального магнитного поля (Международный ..., 2003) (в).

Рис. 2. Карта разломов Японского моря и его континентального и островного обрамления с эпицентрами землетрясений (Изосов и др., 2014, с изменениями): 1 — тектонические швы, установленные (а) и предполагаемые (б): Центральный Сихотэ-Алинский (1), Западно-Приморский (2), Арсеньевский (3), Северо-Янь-цзиньский или Чонли-Чэндэ (4), Таньлу-Циндао (5), Хаячине (6), Танакура (7), Очковский (8), Собэкский (9), Циркум-Хида (10); 2 — региональные разломы установленные (а) и предполагаемые (б): Илань-Итун (11), Западный Наданьхада-Алинский (12), Дальнереченский (13), Таньлу-Мишань-Сюркумский (14), Ялуцзян-Циндао (15), Рисири-Монерон (16), Центрально-Сахалинский (17), Прибрежный (18), Находка-Ольгинский (19), Восточно-Приморский (20), Восточно-Япономорский (21), Хидака (22), Южно-Приморский (23), Чхончжинский или Сусонхонский (24), Центрально-Япономорский (25), Ямато (26), Садо (27), Кучжан-Кыма (28), Синвон-Осан (29), Канхва-Косон (30), Уллындэ (31), Северо-Окийский (32), Западно-Цусимский (33), Восточно-Цусимский (34), Итоигава-Шизуока (35), Медианная тектоническая линия (36), Бутсузо (37); 3 — разломы, контролирующие четвертичные вулканы; 4 — границы Ханкайской субконтинентальной разломной депрессии; 5 — рифтогенная зона с раннепалеозойскими офиолитами; 6 — неоген-четвертичная щелочно-базальтоидная формация: вулканы (а), неоген-четвертичные интрузивные массивы (б) и вулканические постройки Японской впадины (в); 7 — эпицентры землетрясений: глубина очагов $h = 0-60$ км (а), $h = 60-300$ км (б), $h = 300-660$ км (в). Сейсмолинементы: I — Нансей — Мацуэ, II — Центральный Нампо — Итоигава-Шизуока; III — Восточный Нампо — Танакура — Восточно-Япономорский; IV — Восточный Хоккайдо; V — Западный Нампо — Хасан; VI — Ямато — Лаперуза; сейсмические «кольца»: Фукусима (Ф), Иваки (И) и Хитати (Х).

Вадати — Заварицкого — Бенъофа (Wadati, 1935) наиболее сейсмоактивны с глубины 50–100 км — с кровли океанической астеносферы и до 250–300 км, где происходит непосредственное соприкосновение литосферных плит, то есть — под астеносферой.

Важной особенностью глубинного строения Западно-Тихоокеанской зоны перехода является наличие в верхней мантии астеносферного слоя, от которого ответвляются диапиры аномальной мантии — здесь они-то и определяют процессы формирования структур земной коры (Родников, 1986). По данным многочисленных исследователей в астеносфере вещество имеет пониженную вязкость и может перетекать, как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. В связи с этим выступы активной астеносферы могут приобретать вращательный момент за счет бокового взаимодействия литосферных плит — Евроазиатской и Тихоокеанской — в тектонической мегазоне сдвига (Изосов, Чупрынин, 2012; Чупрынин, Изосов, 2017).

На глубине, где субдуцирующая плита уже не контактирует с висячим литосферным крылом, количество сейсмических очагов убывает и вновь возрастает в интервале от 450 до 600 км. Это, на наш взгляд, связано с существованием подвижной регматической сети в мантии, на которую оказывает мощное динамическое воздействие погружающаяся литосферная плита. Таким образом, в зонах перехода континент — океан, в частности, Западно-Тихоокеанского типа, существуют два уровня сейсмической активности: астеносферный и мантийный, связанный с регматической сетью разломов.

Япономорская сейсмофокальная зона, впервые выделенная К. Вадати (Wadati, 1935) — древняя (130 млн лет), мощная и наиболее протяженная (рис. 4, 5), по сравнению с другими такими

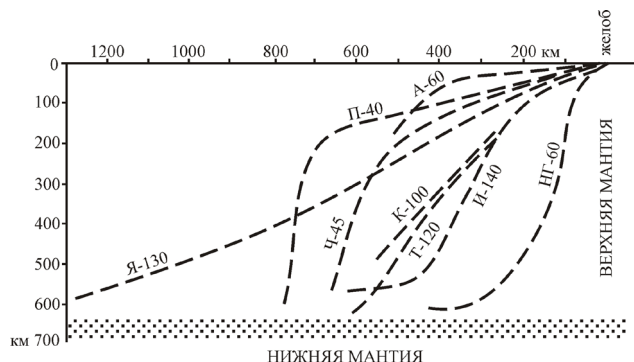


Рис. 4. Профили зон ВЗБ: по (Хаин, Ломизе, 1995): А — Алеутская (восточная часть); П — Андская в Центральном Перу; Ч — Андская в Северном Чили; Я — Японская (центральная часть); К — Курило-Камчатская (северная часть); Т — Тонга; И — Идзу-Бонинская (центральная часть), НГ — Новогребридская. Числа рядом с буквенными обозначениями — возраст субдуцирующей океанской литосферы у желоба.

зонами (Хаин, Ломизе, 1995). Она начинается у Японского глубоководного желоба и полого падает под континент, где субдуцирующая в ней океаническая литосфера уходит до максимальных глубин.

Как уже отмечалось, формирование Западно-Тихоокеанских окраинных морей связано с проявлением мощного вращательного сдвига, что обусловлено, в первую очередь тем, что Тихоокеанская плита совершает знакопеременное вращение с центром в Гавайской «горячей точке» (Маслов, 1996; Jackson et al, 1975; Takeuchi, 1986). В начальные этапы динамического взаимодействия Евроазиатской и Тихоокеанской плит и возникновения вихревого движения в зоне сдвига образуются локальные тектонические блоки, и проявляется магматический диапиризм. Затем развивается субдукция и происходит погружение вращающейся Тихоокеанской плиты под континент. Таким образом, здесь можно сделать очень важный вывод о том, что сейсмофокальная зона — также вращается и на глубине.

ДИСКУССИЯ

В настоящей статье нами рассмотрены структуры, при формировании которых участвуют процессы, описанные в различных геотектонических концепциях (геосинклинальной,

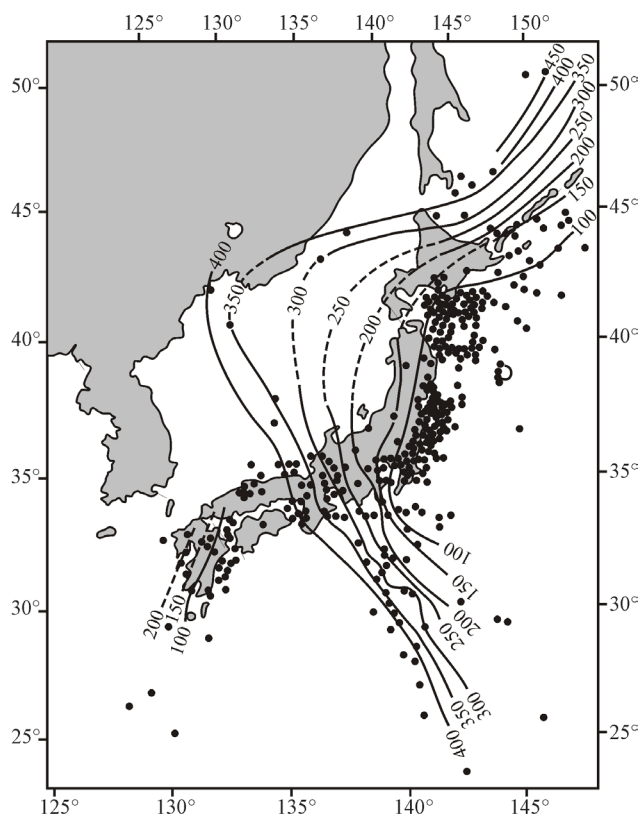


Рис. 5. Япономорская сейсмофокальная зона (Wadati, 1935). Изолинии — глубины очагов землетрясений, км.

плейт-тектонической, плюмовой, тектонической расслоенности литосферы, вихревой и др.).

Известный дальневосточный исследователь И.И. Берсенева (1964) в свое время высказал мнение о том, что существующие геотектонические гипотезы не являются антагонистичными, и что в каждой из них можно выделить рациональное зерно и точки соприкосновения. В этой связи можно вспомнить и слова академика Ю.А. Косыгина (1983, с. 510): «К каждой научной гипотезе надо относиться бережно и ценить ее как инструмент познания, но нельзя из нее делать фетиш; она ведь только гипотеза, она может появиться и исчезнуть, оставив свой вклад и принося пользу науке». Представляется, что попытки объяснить то или иное геологическое явление в рамках одной концепции ограничивает понимание сложных, порой противоречивых геологических связей.

Надо отдать должное геосинклинальной концепции, в системе которой можно заметить ростки почти всех современных теоретических направлений в геологии. Например, в рамках этой концепции были выдвинуты и обоснованы фактическим материалом (Ажгирей, 1956, 1977; Моссаковский, 1975) представления о крупномасштабных горизонтальных перемещениях тектонических масс (шарьяжи, тектонические покровы, узкие «рубцовые зоны», сформировавшиеся на месте бывших подвижных поясов и т.п.).

В связи с потерей позиций геосинклинальной парадигмой (Пушаровский, 1995) ведущее значение в геотектонике придается именно горизонтальным тектоническим движениям, в частности, в концепции новой глобальной тектоники, или «тектоники плит» (Ле Пишон, 1974); в террейновом анализе (Jones et al., 1983); в гипотезе тектонической расслоенности литосферы Ю.М. Пушаровского (1995). В последней ведущее значение отводится дифференцированным горизонтальным перемещениям континентов, отдельных блоков и литопластин внутри континентов и океанского ложа, вызванным проворотом тектоносфер относительно друг друга и движениями по сублатеральным срывам. При этом, с одной стороны, возникает вращательный момент, который приводит к формированию сдвиговых зон и вихревых структур, а с другой — обстановки, благоприятные для крупномасштабного растяжения — сжатия и, как следствие, для проявления рифтогенных и коллизионных процессов, в которые вовлекаются коровые и мантийные массы. Вероятно, «восходящие» тектоносферные воронки (Абрамов, Осипова, 2009) являются структурами растяжения — в них «засасываются» и выводятся на поверхность мантийные образования; в «нисходящих» воронках, напротив, происходит сжатие — скручивание и

нагнетание корового вещества, которое транспортируется в нижние слои литосферы.

Мы в курсе дискуссии по возможному механизму образования вихревых структур, развернутой на страницах журнала «Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле», да и в других публикациях камчатских геологов. Однако авторы настоящей статьи придерживаются представлений, изложенных в работах (Изосов, Чупрынин, 2012; Изосов и др., 2012а, 2012б; 2014; Чупрынин, Изосов, 2017 и др.). В частности, нами не затрагиваются вопросы новой геологической парадигмы — моментной (и/или волновой и/или вихревой) геодинамики (Викулин, 2010; Викулин и др., 2011). Знакомы мы и с отзывом А.В. Викулина (2014), на статью Е.Г. Мирлина и Ю.В. Миронова (2014), в котором делается вывод о том, что тектоника плит напрямую никак не связана с вращением планеты.

Таким образом, в проблеме формирования вихревых структур существуют определенные дискуссионные моменты, подчеркиваемые различными исследователями. Это и не удивительно, поскольку глобальные вихревые структуры, в последние годы привлекают все большее внимание геологов, в связи с разработкой новых подходов к решению фундаментальных задач геотектоники. Возможно, рассматриваемые в рамках плейт-тектоники литосферные плиты являются глобальными вихревыми системами (Изосов, Ли, 2017), а геологическая структура литосферы сформирована в результате тектонического течения вещества — как вязкой жидкости. Механизм образования литосферных вихрей определяется ротационными процессами, когда возникают скачкообразные изменения в скорости вращения Земли, вызванные космическими причинами. Например, Тихоокеанская литосферная плита, начиная с олигоцена, испытывает знакопеременное вращение — то есть, по существу, представляет вихревую структуру. Отмечается также (Тверетина, Викулин, 2005, с. 66; курсив наш) что «строение границ *литосферных плит — зон сдвиговых деформаций*, рассматривается как геологическое доказательство «собственного» (не Эйлера) вращения плит». Вулканическая вихревая гипотеза (Мелекесцев, 1979), по А.В. Викулину (2010) имеет как элементы «созвучные» тектонике плит, так и элементы, принципиально отличные от нее. Общеизвестными являются и сейсмофокальные зоны, фиксирующие области, в которых происходит конвергентное взаимодействие литосферных океанических и континентальной плит (субдукция).

Нас интересует, прежде всего, комплексный, многомерный подход к решению поставленных задач. Авторы полагают, что в формировании различных геологических структур участвуют

многочисленные тектонические факторы, обусловленные как земными, так и космическими причинами. Вращение Земли вызывает мощные силы, формирующие вихревые системы глобального масштаба и подчиненные им локальные структуры того или иного иерархического уровня. Можно полагать, что именно вихревая геодинамика, развиваемая многочисленными исследователями, начиная с 1928 г. (Lee, 1928), и сочетающая в себе горизонтальные и вертикальные тектонические движения (Изосов и др., 2012а, 2012б), является ключевой концепцией современной геотектоники.

Представляется, что на сегодня отсутствует общепризнанная и всеобъемлющая теория, объясняющая причины проявления различных тектонических движений, что, возможно, связано с многофакторностью геологических процессов. Поэтому, естественно, в данной статье существуют некоторые дискуссионные моменты, требующие дальнейшего обсуждения и развития.

ВЫВОДЫ

Итак, при становлении Япономорской сейсмоактивной вихревой структуры главное значение имели следующие взаимосвязанные факторы: вращение Тихоокеанской литосферной плиты и формирование зоны сдвига между ней и Евразийским континентом; образование вращающейся Япономорской зоны субдукции (зоны ВЗБ); «всплывание» астеносферного диапира, обусловившего раскрытие Японского окраинного моря; становление мантийного уровня сейсмической активности, где развиты разломы регматической сети, которые тоже испытывали на себе динамическое воздействие субдуцирующей Тихоокеанской литосферной плиты.

Работа выполнена при поддержке программы ФНИ ТОИ ДВО РАН (тема 7).

Список литературы

Абрамов В.А., Осипова Е.Б. Нефтегазоносные и рудоносные инверсогенные тектоносферные воронки окраинных морей и переходных зон Азиатско-Тихоокеанского пояса // Геология морей и океанов: Матер. докл. XVIII междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2009. Т. 2. С. 77–82.

Ажгирей Г.Д. Структурная геология. Изд-во Московского университета. Москва, 1956. 493 с.

Ажгирей Г.Д. Шарьяжи в геосинклинальных поясах. М.: Наука, 1977. 155 с.

Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследо-

ваниях / Отв. ред. Томсон И.Н. М.: Наука, 1979. 164 с.

Анохин В.М. Глобальная дизъюнктивная сеть Земли: строение, происхождение и геологическое значение. СПб: Недра, 2006. 161 с.

Берсенева И.И. Осевое вращение Земли как одна из причин геотектогенеза // Строение и развитие земной коры. М.: Наука, 1964. С. 194–200.

Берсенева И.И., Безверхний В.Л., Леликов Е.П. Строение и развитие дна Японского моря // Геодинамические исследования. 1988. № 11. С. 60–67.

Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л. и др. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.

Викулин А.В. Новый тип упругих ротационных волн в геосреде и вихревая геодинамика // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 2. С. 119–141.

Викулин А.В. Проблема вихревых движений в геологии // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 186–191.

Викулин А.В., Иванчин А.Г., Тверитинова Т.Ю. Моментная вихревая геодинамика // Вестник Московского Университета. Сер. 4. Геология. 2011. № 1. С. 29–35.

Викулин А.В., Тверитинова Т.Ю. Энергия тектонического процесса и вихревые геологические структуры // ДАН. 2007. Т. 413. № 3. С. 372–374.

Вихри в геологических процессах / Ред. Викулин А.В. Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатского гос. пед. ун-та, 2004. 297 с.

Изосов Л.А., Горошко М.В. Южно-Синегорская впадина Приморья: геологическое строение и развитие // Тихоокеанская геология. 2006. № 3. С. 33–41.

Изосов Л.А., Коновалов Ю.И., Емельянова Т.А. Проблемы геологии и алмазности зоны перехода континент — океан (Япономорский и Желтоморский регионы). Владивосток: Дальнаука, 2000. 326 с.

Изосов Л.А., Ли Н.С. Линеаментный анализ при тектонических и металлогенических построениях в Япономорском регионе // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 1. С. 9–14.

Изосов Л.А., Ли Н.С. Проблемы глобальной вихревой геодинамики // Региональные проблемы. 2017. Т. 20. № 1. С. 27–33.

Изосов Л.А., Мельниченко Ю.И., Ли Н.С. Разломы Японского моря // Геология Дальневосточных морей России и их обрамления: Матер. региональной науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения И.И. Берсенева. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. С. 31–34.

Изосов Л.А., Рязанцева М.Д. Магматические комплексы юга Ханкайского массива // Советская геология. 1977. № 2. С. 77–90.

- Изосов Л.А., Чупрынин В.И.* О механизме формирования геологических структур центрального типа Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент — океан // Геотектоника. 2012. № 3. С. 70–91.
- Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Мельниченко Ю.И.* Фундаментальная проблема соотношения вертикальных и горизонтальных тектонических движений // Региональные проблемы. 2012а. Т. 15. № 1. С. 15–26.
- Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Мельниченко Ю.И.* Фундаментальная проблема соотношения вертикальных и горизонтальных тектонических движений (Часть 2) // Региональные проблемы. 2012б. Т. 15. № 2. С. 12–20.
- Изосов Л.А., Чупрынин В.И., Мельниченко Ю.И. и др.* Связь сейсмической активности с тектоническими и вулканогенными структурами Япономорского звена Западно-Тихоокеанской мегазоны перехода континент — океан // Литосфера. 2014. № 6. С. 3–21.
- Кац Я.Г., Полетаев А.И., Румянцева Э.Ф.* Основы линейной тектоники. М.: Недра, 1986. 140 с.
- Колосков А.В., Аносов Г.И.* Некоторые аспекты геологического строения и особенности проявления вулканизма на активных окраинах Тихого океана, как следствие концепции мантийной вихревой геодинамики // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы. Петропавловск-Камчатский — Иркутск: Изд-во ИГСО РАН, 2005. С. 272–288.
- Кулинич Р.Г., Валитов М.Г., Николаев С.М., Колпащикова Т.Н.* Рельеф поверхности Мохо и типы земной коры в северо-западной части Японского моря по гравиметрическим данным // Дальневосточные моря России: в 4-х кн. М.: Наука, 2007. Кн. 3: Геологические и геофизические исследования. С. 48–52.
- Ле Пишон Кс.* Спрединг океанического дна и дрейф континентов // Новая глобальная тектоника. М.: Мир, 1974. С. 93–132.
- Ли Н.С.* О связи землетрясений с глубинным строением Япономорского звена Западно-Тихоокеанской зоны перехода континент — океан // Региональные проблемы. 2013. Т. 16. № 2. С. 25–29.
- Ли Сы-гуан.* Вихревые и другие проблемы, относящиеся к сочетанию геотектонических систем северо-западного Китая. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 131 с.
- Лобковский Л.И., Баранов Б.В.* Клавишная модель сильных землетрясений в островных дугах и активных континентальных окраинах // ДАН. 1984. Т. 275. № 4. С. 7–17.
- Маслов Л.А.* Геодинамика литосферы Тихоокеанского подвижного пояса. Хабаровск — Владивосток: Дальнаука, 1996. 200 с.
- Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана / Ред. Удинцев Г.Б. М.-СПб.: МОК (ЮНЕСКО), РАН, ФГУП ПКО Картография, ГУНиО, 2003. 192 с.
- Мелекесцев И.В.* Вихревая вулканическая гипотеза и некоторые перспективы ее применения // Проблемы глубинного вулканизма. М.: Наука, 1979. С. 125–155.
- Мирлин Е.Г., Миронов Ю.В.* Роль вихревого движения в геодинамике Эгейского моря (на основе сравнительного анализа с геодинамикой котловины Вудларк // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2014. № 2. Вып. 24. С. 137–185.
- Моссаковский А.А.* Орогенные структуры и вулканизм палеозой Евразии: М.: Наука, 1975. 278 с.
- Основные черты геологического строения дна Японского моря / Отв. ред. И.К. Туезов. М.: Наука, 1978. 264 с.
- Петрищевский А.М.* Плотностная неоднородность литосферы юго-восточного обрамления Северо-Азиатского крата // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 5. С. 566–583.
- Пушаровский Ю.М.* От трех парадигм в геологии // Геотектоника. 1995. № 1. С. 4–11.
- Рикитаке Т.* Геофизические и геологические данные о Японской островной дуге и ее обрамлении // Окраины континентов и островные дуги. М.: Мир, 1970. С. 217–236.
- Родников А.Г.* Соотношение астеносферы и структур земной коры окраины Тихого океана // Тихоокеанская геология. 1986. № 4. С. 15–22.
- Связь магматизма и эндогенной минерализации с блоковой тектоникой / Ред. М.А. Фаворская, И.Н. Томсон. М.: Недра, 1969. 264 с.
- Строев П.А.* Аномальное гравитационное поле Японского моря // Глубинное строение окраинных морей и островных дуг. Труды СахКНИИ. 1972. Вып. 3. С. 250–260.
- Строев П.А.* О характере гравитационных аномалий в «свободном воздухе» в Япономорской переходной зоне // Морские гравиметрические исследования. 1975. № 8. С. 136–144.
- Тверетинова Т.Ю., Викулин А.В.* Геологические и геофизические признаки вихревых структур в геологической среде // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2005. № 5. С. 59–77.
- Уломов В.И.* Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН, 1974. 218 с.
- Хаин В.Е., Ломизе М.Г.* Геотектоника с основами геодинамики. М.: Изд-во МГУ, 1995. 476 с.
- Чупрынин В.И., Изосов Л.А.* Модель формирования краевых морей Западной части Тихого океана // ДАН. 2017. Т. 472. № 1. С. 68–71.
- Chinzei K.* Opening of the Japan Sea and marine Biogeography during the Miocene // Journal of

- geomagnetism and geoelectricity. V. 38 (1986). № 5. P. 487–494.
- Hobbs W.N.* Lineaments of the Atlantic border region // *Bulletin Geological Society of America*. V. 15(1904). P. 483–506.
- Jakson E.D., Shaw H.R., Bargar K.E.* Calculated geochronology and stress field orientations along the Hawaiian chain // *Earth and Planetary Science Letters*. V. 26 (1975). № 2. P. 145–155.
- Jones D.L., Howell D.G., Coney P.J., Monger J.W.H.* Recognition, character, and analysis of tectonostratigraphic terranes in western North America // *Geology and Liberal Education*. 1983. V. 31. P. 295–303.
- Lee J.S.* Some Characteristic Structural Types in Eastern Asia and their Bearing upon the Problems of Continental Movements // *Geological Magazine*. V. 66 (1928). P. 422–430.
- Otofuji Y., Matsuda T.* Paleomagnetic evidence for the clockwise rotation of Southwest Japan // *Earth and Planetary Science Letters*. V. 62(1983). P. 349–359.
- Takeuchi A.* Pacific swing: Cenozoic episodicity of tectonism and volcanism in Northeastern Japan // *Memoir of the Geological Society of China*. 1986. № 7. P. 233–248.
- Wadati K.* On the activity of deep focus earthquakes in the Japan islands and neighbourhoods // *Geophysical Magazine*. V. 8(1935). P. 305–325.

SEISMICALLY ACTIVE VORTEX STRUCTURE IN THE SEA OF JAPAN

L.A. Izosov¹, V.I. Chuprynin², N.S. Lee¹

¹*Pacific Oceanological Institute V.I. Il'ichev Feb RAS, Vladivostok, 690041*

²*Pacific Geography Institute Feb RAS, Vladivostok, 690041*

The Sea of Japan's vortex structure (JVS) was formed as a result of the rotational shift of the lateral process in dynamic interaction between the Pacific and Eurasian plates, which triggered the opening of the Japan marginal sea. In the process of the JVS formation a complex combination of horizontal and vertical tectonic movements occurred resulting in formation of the rotating magma diapir. Numerous earthquake epicenters indicating its seismic activity are confined to JVS. Subduction of the rotating Pacific lithospheric plate under the Eurasian plate caused the mantle level of seismicity, associated with the activation of the regmatic network.

Keywords: vortex structure, lithospheric plates, asthenospheric diapir, seismically active zones.